

На правах рукописи

Работа выполнена в Ижевском государственном техническом университете и Камском государственном политехническом институте

Набиев Ильфир Сабирянович

**РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ
ИНЕРЦИОННЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ВРАЩАЮЩЕГО
МОМЕНТА ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

Специальности: 05.05.03 – Колесные и гусеничные машины
05.02.18 – Теория механизмов и машин

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель доктор технических наук
Филькин Николай Михайлович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Фасхиев Хакимзян Амирович

заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор
Гольдфарб Вениамин Иосифович

Ведущая организация Департамент развития и внедрения новых
разработок открытого акционерного
общества «Камский автомобильный
завод» (ДРиВНР ОАО «КАМАЗ»), г.
Набережные Челны

Защита состоится 5 ноября 2003 года в 12⁰⁰ часов на заседании
диссертационного совета Д 212.065.03 в Ижевском государственном
техническом университете по адресу: 426069, УР, г. Ижевск, ул.
Студенческая, дом 7, ИжГТУ, корп. 7

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ижевского
государственного технического университета

Автореферат разослан «_____» сентября 2003 г.

Ижевск – 2003

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор технических наук, профессор

Турыгин Ю.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Непрерывно возрастающий ежегодный объем выпуска легковых и грузовых автомобилей, мотоциклов, мопедов и других транспортных машин в мире ведет к увеличению общего количества эксплуатируемых машин и, как следствие, к росту интенсивности дорожного движения, что в свою очередь значительно осложняет управление машиной и увеличивает вероятность дорожно-транспортных происшествий. Данный факт и повышение требований к таким эксплуатационным свойствам машины как комфортабельность работы водителя требует поиска путей автоматизации процесса управления.

Наибольшее распространение получили при автоматизации управления машиной гидромеханические передачи (ГМП). Автоматические ГМП на настоящее время достигли высокого совершенства конструкций. Однако такие приводы имеют следующие трудно устранимые недостатки: меньший в сравнении с механическим приводом коэффициент полезного действия (КПД), особенно при работе на режиме трансформации вращающего момента, что ухудшает показатели топливной экономичности и скоростных свойств; повышенная стоимость и вес транспортного средства; сложность эксплуатации при низких температурах окружающей среды, что характерно для большей части территории нашей страны. Перспективным конкурентом ГМП является автоматический привод машины, созданный на основе инерционного трансформатора вращающего момента (ИТВМ).

ИТВМ – это механическая передача, обладающая внутренним автоматизмом, т.е. способностью аналогично гидротрансформатору автоматически изменять передаточное отношение в зависимости от угловой скорости выходного вала используемой энергетической установки (двигателя) и величины нагрузки внешнего сопротивления. В связи с этим, наблюдается постоянный интерес к использованию ИТВМ в автоматических приводах различных машин. Потенциальные возможности таких трансформаторов, заложенные изначально физической сущностью происходящих процессов в ИТВМ, и малый опыт их применения в конструкциях колесных машин будут диктовать актуальность и важность этой проблемы в перспективе как с научной, так и практической точки зрения.

Целью диссертационной работы является разработка и обоснование рациональных схем ИТВМ для транспортных средств, методик расчетных и экспериментальных исследований динамики звеньев ИТВМ в составе трансмиссии автомобиля.

Задачи исследований. Сформулированная цель и проведенный анализ нерешенных проблем по теме диссертации позволили определить следующие основные задачи исследования диссертационной работы:

- провести исследование возможных схем ИТВМ с импульсаторами планетарного типа для транспортных машин;

- выполнить исследование дифференциальных схем ИТВМ с разделением потока мощности;

- провести исследование динамики звеньев ИТВМ с выходным механизмом свободного хода (МСХ) и без выходного МСХ с учетом податливости трансмиссии автомобиля;

- провести расчетные и экспериментальные исследования переходных процессов ИТВМ в составе легкового автомобиля;

- выполнить исследование работы ИТВМ в тормозном режиме движения легкового автомобиля;

- разработать новые конструкции автоматических коробок передач для легковых автомобилей и мотоциклов с ИТВМ;

- предложить и обеспечить реализацию разработанных рекомендаций и научных положений диссертации в экспериментальных образцах ИТВМ.

Методы исследований. Решение поставленных задач базируется на теориях движения и эксплуатационных свойств колесных транспортных машин; методах математического моделирования динамики механических систем, анализа и синтеза сложных технических систем; численных методах вычислений и экспериментальных исследований автомобилей.

Достоверность и обоснованность. Достоверность принятых в диссертационной работе решений подтверждается согласованностью теоретических результатов с результатами экспериментальных исследований, полученных в лабораторных условиях ОАО «ИжАвто» и ОАО «Ижевские мотоциклы».

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

1. Обоснованы наиболее рациональные схемы импульсаторов ИТВМ для транспортных машин.

2. Выполнены исследования характеристики динамического движущего момента на ведомом звене импульсатора планетарного типа с ведущим водилом и ведомым солнечным колесом без выходного и с выходным МСХ.

3. Разработана конструкция и выполнено исследование дифференциальной схемы ИТВМ для мотоцикла.

4. Разработаны методики расчетных и экспериментальных исследований динамики звеньев ИТВМ в составе трансмиссии автомобиля при его движении в различных режимах: разгон, торможение, движение с установившимися скоростями.

5. Разработана конструкция автоматической коробки передач с ИТВМ для легкового автомобиля.

6. Разработана новая конструкция автоматической инерционной импульсной передачи планетарного типа без МСХ.

Практическая ценность. Внедрение в практику проектирования разработанных методик исследования позволяет обосновывать конструктивные параметры ИТВМ расчетными методами на ранней стадии

проектирования в зависимости от основных параметров транспортного средства и мощностных характеристик установленного на нем двигателя.

Реализация результатов. Разработанные методики и результаты теоретических исследований используются в Управлении главного конструктора ОАО «ИжАвто» и в ДР и ВНР ОАО «КАМАЗ» при выполнении опытно-конструкторских работ по созданию автоматических трансмиссий с ИТВМ. Разработанные рекомендации и научные положения диссертации реализованы в экспериментальном образце автоматической трансмиссии легкового автомобиля ИЖ-2126.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались на международных научно-технических конференциях: «Автомобиль и техносфера» (JSATS'2001, JSATS'2003) (Казань, КГТУ-КАИ, 2001, 2003), Балттехмаш-2002 (Калининград, КГТУ, 2002), «Прогресс транспортных средств и систем-2002» (Волгоград, ВГТУ, 2002), «Информационные технологии в инновационных проектах» (Ижевск, ИжГТУ, 2003), «Проблемы машиностроения и технологии материалов на рубеже веков» (Пенза, ПГУ, 2003); на Всероссийских научно-технических конференциях «Механика и процессы управления моторно-трансмиссионных систем транспортных машин» (Курган, УрО РАН, 2003), «Современные тенденции развития автомобилестроения в России» (Тольятти, ТГУ, 2003).

Диссертация неоднократно докладывалась и обсуждалась на кафедрах «Эксплуатация автомобильного транспорта» Камского государственного политехнического института и «Автомобили и механообрабатывающее оборудование» Ижевского государственного технического университета.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 научных статей, выпущено 2 отчета о научно-исследовательских работах, выполняемых по программам Министерства образования РФ, и получено 1 свидетельство на полезную модель.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и выводов. Общий объем диссертационной работы 152 страницы машинописного текста, включающего 44 рисунка, 4 таблицы и список использованной литературы из 107 наименований.

Работа выполнена при поддержке гранта по фундаментальным исследованиям в области технических наук Минобразования РФ «Разработка научных основ создания автоматических трансмиссий с динамическими связями» и в соответствии с проектом «Разработка научных основ создания легкового автомобиля с гибридной энергосиловой установкой», выполненный в соответствии с программой «Транспорт» научно-технической программы Минобразования РФ «Научные исследования высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники».

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы работы, определен объект

исследования, проведена краткая аннотация всех глав диссертации и дается общее представление о диссертационной работе.

В первой главе проведен анализ силовых приводов колесных транспортных средств и возможных направлений создания автоматических трансмиссий.

В настоящее время в конструкциях транспортных средств в основном используют следующие типы автоматических трансмиссий: гидростатические, гидродинамические, вариаторные фрикционные и клиноременные. Наибольшее распространение при автоматизации управления машиной получили гидродинамические приводы. Сравнительно невысокие коэффициенты трансформации гидротрансформатора, примерно 2-2,5, приводят к тому, что за гидротрансформатором ставят механические редукторы, например, коробку передач. Следовательно, в преобразующей части имеется механическое звено. Поэтому такие автоматические силовые приводы называются гидромеханическими передачами или приводами машин.

Безусловно, у всех перечисленных типов автоматических трансмиссий колесных машин есть свои преимущества и недостатки, но все они значительно уступают ступенчатым трансмиссиям в показателях топливной экономичности и скоростных свойств разгона машины. Исключением могут быть автоматические трансмиссии, разработанные на основе ИТВМ, при условии преодоления проблем их надежности.

В нашей стране выполнен большой объем работ по исследованию ИТВМ. Работы М.А. Айзермана, А.С. Антонова, С.П. Баженова, М.Ф. Балжи, А.П. Бессонова, В.Г. Белоглазова, А.А. Благоданова, Р.Н. Болдырева, Г.Г. Васина, М.П. Горина, А.Ф. Дубровского, С.Н. Кожевникова, А.И. Леонова, В.Ф. Мальцева, В.И. Пожбелко, В.А. Умняшкина и др. исследователей являются основой теории, позволяющей рационально подходить к проектированию ИТВМ. Из зарубежных исследований последних лет следует отметить работы Ф. Вильямса, Д. Типпинга, М. Отта.

Основное преимущество приводов с ИТВМ в сравнении с ГМП – это возможность обеспечить показателей экономичности и производительности колесных машин на уровне механических силовых приводов с жесткой связью с ручным управлением при очевидных внутренних свойствах автоматизма ИТВМ. Поэтому следует продолжать работы по созданию приводов колесных машин с инерционно-импульсными бесступенчатыми передачами с целью их практической реализации.

Анализ проблем и состояния вопроса создания автоматических трансмиссий на основе ИТВМ позволил сформулировать цель и основные задачи диссертационного исследования.

Во второй главе рассматриваются возможные схемы планетарных импульсаторов ИТВМ; выбирается наиболее рациональная схема импульсатора для ИТВМ легкового автомобиля; уточняется характеристика динамического движущего момента на ведомом звене импульсатора типа

передачи Хоббса; рассматриваются свойства ИТВМ с дифференциальными механизмами.

ИТВМ, у которых используются импульсаторы планетарного типа с неуравновешенными сателлитами, отличаются формированием гармонических моментов, развиваемых грузовыми звеньями, что обуславливает меньшие динамические усилия в элементах трансформатора, снижение неравномерности движения приводного двигателя.

Сравнительные теоретические и экспериментальные исследования планетарных импульсаторов показали, что хотя они и относятся к одной группе, но обладают существенно-различными характеристиками динамических движущих и реактивных моментов, соответственно на их ведущем и ведомом звеньях.

На рис. 1 приведены основные схемы импульсаторов этого типа: а - механизм с ведущим водилом при ведомом солнечном колесе (передача типа Хоббса); б и г - с ведущей солнечной (передача Чальмерса) и коронной шестернями при ведомом водиле; в - с ведомым коронным колесом при ведущем водиле; д и е - импульсаторы механизма С.Ф. Левина.

Используя обозначения параметров импульсаторов (см. рис. 1), можно записать выражения для движущих динамических моментов на ведомом и ведущем звеньях импульсаторов в зависимости от их угловой скорости или от передаточного отношения при постоянной угловой скорости ведущего звена. Упрощенные выражения получаем не учитывая влияния углового ускорения неуравновешенных сателлитов в цикле работы импульсатора. Полученные выражения приведены в табл. 1, где m_c - масса неуравновешенного груза, r_m - расстояние от оси вращения груза до центра тяжести груза m_c , r_b - радиус водила, r_{ck} - радиус солнечного колеса, r_c - радиус сателлита, r_k - радиус корончатого колеса, φ_2 - угол поворота сателлита относительно водила.

На рис. 2 приведено изменение амплитуды момента на ведомом валу импульсатора по передаточному отношению передачи в относительных величинах $\mu = M_{имп3} / m_c r_m r_c \dot{\varphi}_1^2 \sin \varphi_2$, для того чтобы можно было оценить только влияние кинематической схемы (не учитывая массовые и габаритные размеры). Для упрощения расчетов принимаем $r_c = r_{ck}$, следовательно, для цилиндрического планетарного механизма $r_b = 2r_c$ и $r_k = 3r_c$.

Графики на рис. 2 позволяют отметить, что при одинаковых размерах водила и неуравновешенных сателлитов наибольшие моменты могут быть получены по схеме 4 (табл. 1) наименьшие по 5, 6. Кроме того, схемы 2, 6 для некоторых значений $i_{\Pi} > 0$ имеют $M_{имп3} \leq 0$, вследствие чего привод с импульсатором такого типа будет работать только при $i_{\Pi} < 0,2$ и не имеет режима динамической муфты. Передача по схеме 1 обеспечивает интенсивную разгонную характеристику, а схема 4, имея $M_{имп3} = f(\dot{\varphi}_1, \dot{\varphi}_3)$, позволяет синтезировать непрерывную трансмиссию с передачей ведомому валу нескольких смещенных по фазе импульсов или даже без МСХ. В связи с этим дальнейшие исследования проводились в основном для передачи, выполненной по схеме 1.

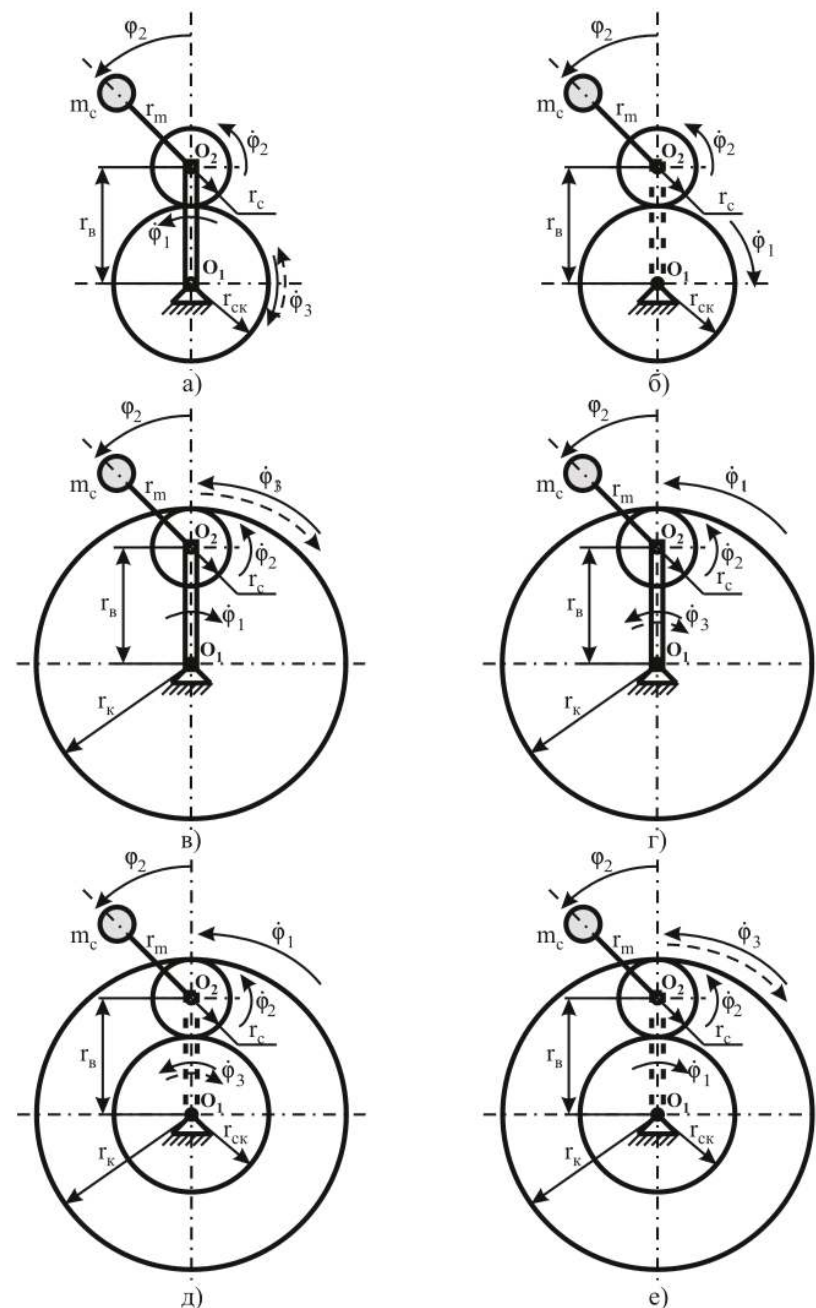


Рис. 1. Схемы импульсаторов

Таблица 1. - Возможные схемы планетарных импульсаторов и динамические моменты на ведомом и ведущем звеньях

№ схемы	Схема импульсатора	Динамический момент на ведомом валу ($M_{ИМП3}$)	Динамический момент на ведущем валу ($M_{ИМП1}$)
1		$m_c r_m r_{ck} \frac{r_b}{r_c} \dot{\varphi}_1^2 \sin \varphi_2$	$m_c r_m r_{ck} \frac{r_b}{r_c} \dot{\varphi}_1^2 \sin \varphi_2 \times$ $\times \left[\frac{r_{ck}}{r_c} (1 - i_{\Pi})^2 + 1 - 2i_{\Pi} \right]$
2		$m_c r_m r_b \left(\frac{r_b}{r_c} + 1 \right) \dot{\varphi}_1^2 \sin \varphi_2 \times$ $\times \left[\frac{r_b}{r_c} (i_{\Pi} - 1)^2 + i_{\Pi}^2 - 2i_{\Pi} \right]$	$m_c r_m r_b \left(\frac{r_b}{r_c} + 1 \right) i_{\Pi}^2 \dot{\varphi}_1^2 \sin \varphi_2$
3		$- m_c r_m r_c \dot{\varphi}_1^2 \sin \varphi_2 \times$ $\times \left(\frac{r_k}{r_c} + 1 \right) \cdot \left(\frac{r_k}{r_c} + 2 \right)$	$m_c r_m r_c \dot{\varphi}_1^2 \sin \varphi_2 \left(\frac{r_k}{r_c} + 1 \right) \cdot \left(\frac{r_k}{r_c} + 2 \right) \times$ $\times \left[\left(\frac{r_k}{r_c} + 2 \right) (1 - i_{\Pi})^2 - 1 + 2i_{\Pi} \right]$
4		$m_c r_m r_c \dot{\varphi}_1^2 \left(\frac{r_b}{r_c} + 1 \right) \cdot \left(\frac{r_b}{r_c} + 2 \right) \sin \varphi_2 \times$ $\times \left[\left(\frac{r_b}{r_c} + 2 \right) (i_{\Pi} - 1)^2 - i_{\Pi}^2 + 2i_{\Pi} \right]$	$- m_c r_m r_c \dot{\varphi}_1^2 i_{\Pi}^2 \times$ $\times \left(\frac{r_b}{r_c} + 1 \right) \cdot \left(\frac{r_b}{r_c} + 2 \right) \sin \varphi_2$
5		$m_c r_m \dot{\varphi}_1^2 \frac{r_{ck} (r_b + r_c)}{2 r_b} \sin \varphi_2 \times$ $\times \left[\left(\frac{r_{ck}}{2 r_c} \right)^2 (1 - i_{\Pi})^2 + \frac{r_b}{r_c} \right]$	$m_c r_m \dot{\varphi}_1^2 \frac{r_{ck} (r_b + r_c)}{2 r_b} \sin \varphi_2 \times$ $\times \left[\left(\frac{r_{ck}}{2 r_c} \right)^2 (1 - i_{\Pi})^2 + \frac{r_b}{r_c} (1 - 2i_{\Pi}) \right]$
6		$m_c r_m \dot{\varphi}_1^2 \frac{r_k (r_k + 2 r_c)}{2 (r_k + r_c)} \sin \varphi_2 \times$ $\times \left[\left(\frac{r_k}{2 r_c} \right)^2 (i_{\Pi} - 1)^2 + \left(\frac{r_k}{r_c} + 1 \right) (i_{\Pi}^2 - 2i_{\Pi}) \right]$	$m_c r_m \dot{\varphi}_1^2 \frac{r_k (r_k + 2 r_c)}{2 (r_k + r_c)} \sin \varphi_2 \times$ $\times \left[\left(\frac{r_k}{2 r_c} \right)^2 (i_{\Pi} - 1)^2 + i_{\Pi}^2 \left(\frac{r_k}{r_c} + 1 \right) \right]$

Зависимость изменения динамического движущего момента $M_{ИМП3}$ для схемы 1, как отмечалось выше, получена без учета влияния величины ускорения $\ddot{\varphi}_2$ неуравновешенного сателлита. Такое допущение дает правильный результат только для «стопового» режима, когда передаточное отношение ИТВМ $i_{\Pi} = 0$. По этой величине момента $M_{ИМП3}$ определяют

массу неуравновешенных грузов, что справедливо, т.к. величина ее должна обеспечить трогание машины при заданных значениях угловой скорости $\dot{\varphi}_1$ двигателя и момента M_c внешнего сопротивления.

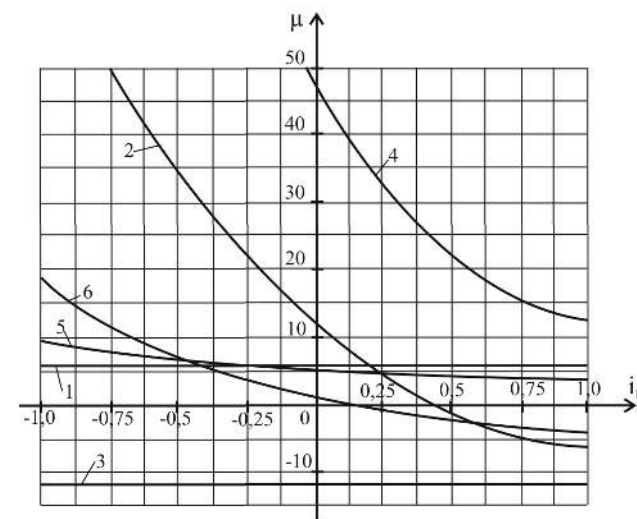


Рис. 2. Изменение амплитуды момента на выходном валу импульсного механизма

При разгоне машины с увеличением передаточного отношения ($0 \leq i_{\Pi} \leq 1,0$) $M_{ИМП3}$ для схемы 1 остается неизменным. Последнее требует уточнений, так как характеристика $M_{ИМП3}(i_{\Pi})$ на ведомом звене (валу реактора) ИТВМ представляет основу для определения выходной характеристики трансформатора и исследования динамики разгона машины.

Рассмотрим кинестатику ИТВМ (рис. 3). К ведущему валу, на котором закреплено водило 1, приложен момент M_d приводного двигателя и момент $M_{ИМП1}$ от реактивных сил инерции, возникающих при движении неуравновешенных сателлитов. На ведомом валу реактора 3 действуют: момент $M_{ИМП3}$ движущих сил инерции, развиваемых неуравновешенными массами на сателлитах 2; момент M_c внешнего сопротивления.

Значения $M_{ИМП1}$ и $M_{ИМП3}$ зависят от действия следующих активных сил: $F_c = m_c g$, $F_m = mg$ — соответственно силы тяжести сателлита и неуравновешенного груза с массами m_c и m , где g — ускорение свободного падения; $F_1 = m r_m \ddot{\varphi}_{21}$, $F_2 = m r_m \ddot{\varphi}_{21}^2$ — силы инерции от движения неуравновешенного груза относительно опоры сателлита под действием ускорения $\ddot{\varphi}_{21}$ и частоты вращения сателлита $\dot{\varphi}_{21}$, r_m — расстояние от центра

сателлита O_2 до центра тяжести неуровновешенного груза; $F_3 = m r_b \dot{\phi}_1^2$, $F_4 = m r_m \dot{\phi}_1^2$ – силы инерции неуровновешенного груза относительно опоры солнечного колеса O_1 , r_b – радиус водила; $F_5 = 2 m r_m \dot{\phi}_1 \dot{\phi}_{21}$ – кориолисова сила инерции; $F_6 = m_c r_b \dot{\phi}_1^2$ – сила инерции сателлита от действия частоты вращения водила $\dot{\phi}_1$; $M_c = J_c \ddot{\phi}_{21}$ – момент сил инерции от действия ускорения $\ddot{\phi}_{21}$, где J_c – момент инерции сателлита относительно опоры O_2 .

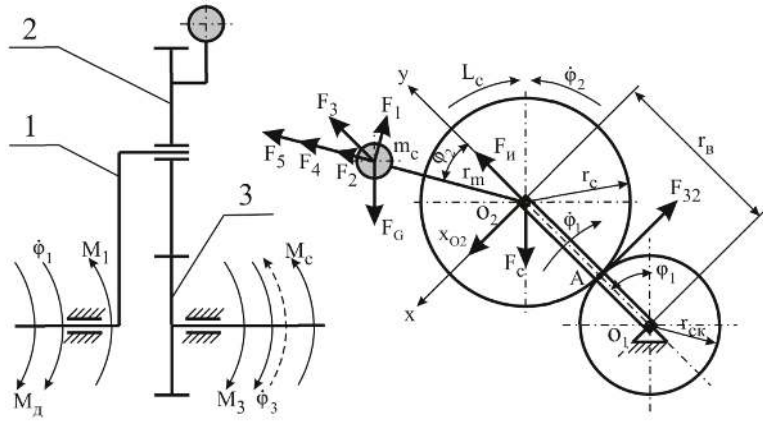


Рис. 3. Расчетная схема импульсатора ИТВМ

Функциональные зависимости $M_{ИМП1}$ и $M_{ИМП3}$ имеют вид:

$$M_{ИМП3} = F_{32} r_{ck} = \frac{r_{ck}}{r_c} [m r_m r_b \dot{\phi}_1^2 \sin \phi_2 + (m r_m^2 + J_c) \ddot{\phi}_2],$$

$$M_{ИМП1} = x_{O2} r_b = \frac{r_b}{r_c} \left\{ m r_m (r_{ck} \dot{\phi}_1^2 - r_c \dot{\phi}_2^2 - 2 r_c \dot{\phi}_1 \dot{\phi}_2) \sin \phi_2 + [m r_m (r_m + r_c \cos \phi_2) + J_c] \ddot{\phi}_2 \right\}.$$

Реактивный момент загружает приводной двигатель. При допущении, что $\dot{\phi}_1 = \text{const}$, имеет место равенство $M_{ИМП1} = M_d$. Тогда

$$\ddot{\phi}_2 = \frac{M_d r_c}{r_b [m r_m (r_m + r_c \cos \phi_2) + J_c]} - \frac{m r_m (r_{ck} \dot{\phi}_1^2 - r_c \dot{\phi}_2^2 - 2 r_c \dot{\phi}_1 \dot{\phi}_2) \sin \phi_2}{m r_m (r_m + r_c \cos \phi_2) + J_c}.$$

Следовательно, характеристика движущего момента на ведомом звене импульсатора:

$$M_{ИМП3} = \frac{m r_m r_b r_{ck} \dot{\phi}_1^2}{r_c} \sin \phi_2 + \frac{M_d r_{ck} (m r_m^2 + J_c)}{r_b (m r_m^2 + J_c + m r_m r_c \cos \phi_2)} - \frac{m r_m r_{ck} (m r_m^2 + J_c) (r_{ck} \dot{\phi}_1^2 - r_c \dot{\phi}_2^2 - 2 r_c \dot{\phi}_1 \dot{\phi}_2) \sin \phi_2}{r_c (m r_m^2 + J_c + m r_m r_c \cos \phi_2)}.$$

Полученная характеристика динамического движущего момента представляет выходную характеристику ИТВМ без выходного МСХ и

отсутствия упругого элемента. Наличие упругости между валом реактора (выходным валом ИТВМ) и карданом будет вносить определенные изменения в полученную характеристику. Поэтому упругий элемент необходимо включить в состав ИТВМ (рис. 4) и исследовать изменения характеристики движущего момента после упругого элемента.

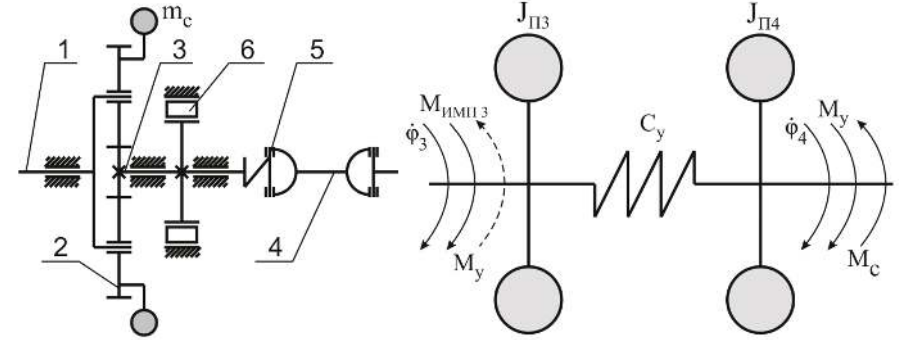


Рис. 4. Кинематическая схема ИТВМ и динамическая модель трансмиссии автомобиля с ИТВМ без выходного МСХ

Соответствующая система дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} J_{П3} \ddot{\phi}_3 = M_{ИМП3cp} - C_y (\phi_3 - \phi_4) \\ J_{П4} \ddot{\phi}_4 = C_y (\phi_3 - \phi_4) - M_{c4} \end{cases},$$

где ϕ_3 и ϕ_4 – углы поворота ведущей части; M_{c4} – момент внешнего сопротивления приведенный на упругий элемент; $M_{ИМП3cp}$ – средний движущий динамический момент.

Обозначим $\phi_3 - \phi_4 = \phi$ – угол относительного поворота. Тогда решение запишется в виде:

$$\phi = A \cdot \sin \sqrt{\frac{C_y}{J_{П}}} \cdot t + B \cdot \cos \sqrt{\frac{C_y}{J_{П}}} \cdot t + \frac{(M_{ИМП3cp} - M_{c4}) J_{П3}}{C_y (J_{П3} + J_{П4})} + \frac{M_{c4}}{C_y},$$

где A и B – постоянные коэффициенты, которые определяются из начальных условий интегрирования; $J_{П} = \frac{J_{П3} \cdot J_{П4}}{J_{П3} + J_{П4}}$ – приведенный момент инерции системы.

Применение упругого элемента вместо выходного МСХ при использовании быстрого привода (весьма кратковременной длительности действия положительной части импульса движущего момента) приводит к существенному снижению выходной характеристики ИТВМ. Поэтому во многих конструкциях ИТВМ используется выходной МСХ (рис. 5).

Для данной схемы получено среднее значение M_{4cp} на выходном валу:

$$M_{4cp} = \frac{1}{\pi} \left\{ a_1 (\cos \varphi_{2p} - \cos \varphi_{23}) + k_1 \ln \frac{c_1 + p_1 \cos \varphi_{2p}}{c_1 + p_1 \cos \varphi_{23}} + \frac{b_1}{\sqrt{c_1^2 - p_1^2}} \left[\arctg \frac{(c_1 - d_1) \operatorname{tg} \frac{\varphi_{2p}}{2}}{\sqrt{c_1^2 - p_1^2}} - \arctg \frac{(c_1 - d_1) \operatorname{tg} \frac{\varphi_{23}}{2}}{\sqrt{c_1^2 - p_1^2}} \right] \right\},$$

где: $a_1 = \frac{mr_m r_b r_{ck}}{r_c} \dot{\varphi}_1^2$; $b_1 = \frac{r_{ck}(mr_m^2 + J_c)}{r_b} M_d$; $c_1 = mr_m^2 + J_c$; $p_1 = mr_m r_c$;

$$k_1 = \frac{r_{ck}}{r_c^2} \dot{\varphi}_1^2 (mr_m^2 + J_c) \cdot \left[r_{ck} - r_c \left(\frac{1 - i_{II}}{U} \right)^2 - 2r_c \left(\frac{1 - i_{II}}{U} \right) \right], U = r_c / r_{ck} - \text{передаточное}$$

число зубчатой пары передачи, i_{II} - передаточное отношение передачи.

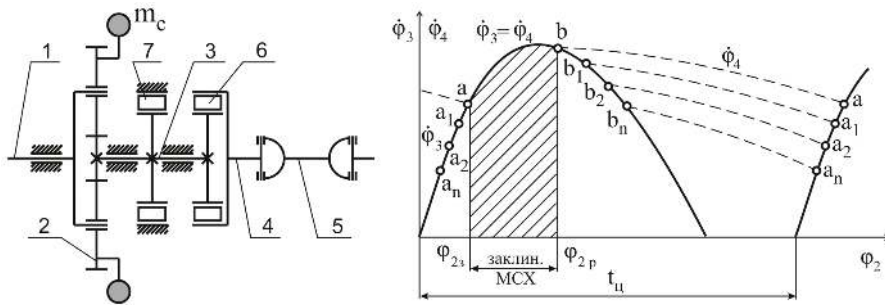


Рис. 5. Кинематическая схема и рабочий цикл ИТВМ с выходным МСХ

Дифференциальный механизм изменяет условия работы ИТВМ и позволяет облегчить динамический режим его работы, варьировать габаритами, массами инерционных грузов, цикличностью работы МСХ.

Свойства дифференциального механизма с тремя основными внешними звеньями а, b, c независимо от числа составляющих его простых механизмов, общего количества основных звеньев и схемы их соединения характеризуются одним параметром $B = i_{cb}^a$ или $i_{ca}^b = 1 - i_{cb}^a$, который в общем случае может принимать любое рациональное значение и равен передаточному отношению дифференциального механизма от ведущего звена к ведомому при неподвижном замыкающем звене. В принятых обозначениях звено с связано с ведущим валом передачи. Уравнение кинематической связи между основными звеньями дифференциала имеет вид $\omega_c = i_{cb}^a \cdot \omega_b + (1 - i_{cb}^a) \omega_a$, где $\omega_a, \omega_b, \omega_c$ – угловые скорости валов а, b, с.

Дифференциальный механизм и импульсатор могут иметь в общем случае любую конструкцию, обобщенные структурные схемы которых приведены в табл. 2. При этом приняты следующие обозначения: Д –

дифференциальный механизм с тремя основными звеньями а, b, c, И – импульсатор; МСХ – механизм свободного хода.

Таблица 2. - Обобщенные структурные схемы передач

№ схемы	Структурная схема	Передаточное отношение передачи i	Коэффициент трансформации и k	Отношение потоков мощностей α	Отношение моментов		j_{max}
					m_{II}	m_M	
1		$\frac{B}{1 - (1 - B)i_T}$	$\frac{B \cdot \kappa_T}{\kappa_T - (1 - B)}$	$\frac{1 - B}{(1 - B) - \kappa_T}$	$\frac{1 - B}{(1 - B) - \kappa_T}$	$\frac{(1 - B)\kappa_T}{(1 - B) - \kappa_T} - \frac{1 - B}{B \cdot \kappa_T}$	$\frac{B}{1 - B}$
2		$\frac{B \cdot i_T}{i_T - (1 - B)}$	$\frac{B}{1 - \kappa_T(1 - B)}$	$\frac{(1 - B)\kappa_T}{1 - (1 - B)\kappa_T}$	$\frac{(1 - B)}{1 - (1 - B)\kappa_T}$	$\frac{(1 - B)\kappa_T}{1 - (1 - B)\kappa_T} - \frac{1 - B}{B \cdot \kappa_T}$	$\frac{B}{1 - B}$
3		$\frac{1 - B}{i_T} + B$	$(1 - B)\kappa_T + B$	$\frac{(1 - B)\kappa_T}{B + (1 - B)\kappa_T}$	$1 - B$	$(1 - B)\kappa_T$	$\frac{1}{1 - B}$
4		$(1 - B) \cdot i_T + B$	$\frac{B \cdot \kappa_T + 1 - B}{\kappa_T}$	$\frac{1 - B}{B \cdot \kappa_T + 1 - B}$	$-\frac{1 - B}{\kappa_T}$	$B - 1$	$\frac{1}{B}$

Для характеристики работы ИТВМ в схеме дифференциального механизма применимы следующие оценочные критерии: 1) отношение моментов на основных звеньях импульсатора M_{II} и ведомого маховика M_M к моменту на ведущем звене M_0 : $m_{II} = M_{II}/M_0$, $m_M = M_M/M_0$; 2) коэффициент трансформации передачи K ; 3) отношение максимальной разности угловых скоростей ведущего звена импульсатора ω_{II} и ведомого маховика ω_M к угловой скорости ведущего вала передачи ω_0

$$j_{max} = \frac{(\omega_{II} - \omega_M)_{max}}{\omega_0}.$$

Максимум этой величины соответствует режиму трогания и зависит от величины параметра i_{cb}^a дифференциального механизма, с уменьшением j_{max} облегчается динамический режим работы ИТВМ; 4)

отношение величины потока мощности, передаваемой ИТВМ N_{Π} , к мощности, передаваемой передачей N (без учета потерь) $\alpha = N_{\Pi} / N$.

С учетом зависимостей между параметрами дифференциального механизма и параметрами ИТВМ момента для каждой возможной схемы соединения получаем формулы, которые характеризуют принятые оценочные критерии в функции этих параметров (см. табл. 2).

При соединении дифференциального механизма с ИТВМ возможны следующие случаи:

1. Если $-\infty < i_{cb}^a < 0$, то в режиме трогания $\omega_b = 0$, угловая скорость ω_a замыкающего звена одинакова по знаку, но меньше по величине угловой скорости ведущего звена ω_0 (схемы 1, 3).

2. Если $0 < i_{cb}^a < 1$, то в режиме трогания $\omega_b = 0$ угловая скорость ω_a замыкающего звена одинакова по знаку, но больше по величине угловой скорости ведущего звена ω_0 , поэтому инерционный трансформатор может быть включен в схему только так, как показано на схемах 2 и 3.

3. Если $1 < i_{cb}^a < \infty$, то при $\omega_b = 0$, $\omega_a < 0$, работа инерционного трансформатора в режиме противовращения невозможна, поэтому в этом случае действительны только схемы 1 и 4. В этих схемах замыкающее звено дифференциального механизма через два МСХ замыкается на корпус, в связи с чем в рассматриваемом случае режим $\omega_b = 0$ отсутствует, а стоповому режиму инерционного трансформатора соответствует режим $\omega_b = \omega_0 / i_{cb}^a$ выходного вала.

В третьей главе решается задача определения основных конструктивных параметров разрабатываемого ИТВМ для легкового автомобиля.

При расчете массы неуравновешенного груза m_c необходимо обосновать геометрические параметры импульсатора, проводя всесторонний анализ их влияния на динамические процессы, происходящие в ИТВМ, надежность и долговечность работы, материалоемкость, компоновку ИТВМ в составе автомобиля и др. При полученных размерах звеньев импульсатора важным является определение массы неуравновешенных грузов из условия обеспечения требуемой величины коэффициента трансформации момента

$$K_T = \frac{M_{\text{ИМП } 3\text{ср}}}{M_{\text{дmax}}}.$$

Возможны различные конструкции сателлита с неуравновешенной массой. На рис. 6 приведен один из принятых вариантов конструкции неуравновешенного сателлита. Как видно, неуравновешенная масса (дисбаланс) размещается с двух сторон сателлита в виде кольцевого сегмента толщиной a и не выходит за пределы диска сателлита. В нижней части диска

сателлита металл удален также в виде кольцевого сегмента, глубина сегмента удаленного металла равна e . Другие обозначения на рис. 6: b - ширина зубчатого венца сателлита, β_c - угол между горизонталью и стороной дисбаланса, γ_c - угол сегмента дисбаланса, R_1, R_2 - радиусы окружностей соответственно внешней и внутренней сторон сегмента дисбаланса, R_3, R_4 - радиусы окружностей внешней и внутренней сторон сегмента выборки металла на диске сателлита, C - центр тяжести неуравновешенной массы сателлита.

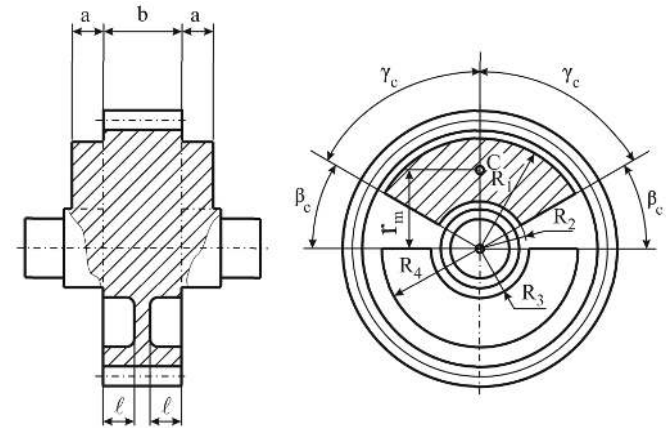


Рис. 6. Конструктивная схема неуравновешенного сателлита

Для выбранного размера диска сателлита ($r_c = 45$ мм) и ширины его зубчатого венца $b = 25$ мм были обоснованы другие размеры конструкции неуравновешенного сателлита: $\gamma_c = 2\pi/3$, $R_1 = 39$ мм, $R_2 = 14$ мм, $R_3 = 31$ мм, $R_4 = 15$ мм, $a = 12,5$ мм, $l = 9,5$ мм. Тогда общий вес неуравновешенных масс одного сателлита при $q = 7,87$ г/см³ равен $G_{\text{общ}} = G_c + G_k = 445,64$ г. Количество сателлитов для передаточного числа зубчатой пары $U = r_c / r_{ck} = 1,5$ в конструкции импульсатора можно реализовать четыре. Поэтому общая масса неуравновешенных грузов $m = 4 \cdot m_c = 1,7826$ Н·с²/м. Ширина зубчатого венца сателлита $b = 25$ мм, $r_m = 24,7$ мм.

Для конструктивной схемы сателлита доказано, что возможно увеличение m до 2 Н·с²/м и соответственно получение $K_T = 2,47$. Максимальная амплитуда динамического момента $M_{\text{ИМП } 3\text{max}} = 854,3$ Н·м.

В четвертой главе описана методика экспериментальных исследований ИТВМ с выходным МСХ и без выходного МСХ, приведены результаты экспериментов и возможные конструктивные схемы ИТВМ,

обеспечивающие устойчивую работу трансмиссии транспортных средств.

Экспериментальные исследования проводились с целью опытной проверки основных теоретических положений. Отсюда вытекают следующие задачи: сравнительные исследования переходных процессов ИТВМ с выходным МСХ и при его отсутствии; исследование тормозных характеристик ИТВМ; исследование характеристики динамического движущего момента, развиваемого неуравновешенными сателлитами на ведомом звене ИТВМ.

Полученные экспериментальные данные по этим малоизученным вопросам необходимы для обоснования наиболее рациональной схемы ИТВМ в приводе автомобиля с учетом заданных условий на проектирование трансформатора. Проведены сравнительные исследования двух модификаций ИТВМ: с выходным МСХ и без него. Здесь требуется проверить условия выхода трансформатора на динамическую муфту.

Исследования выполнялись на специальной экспериментальной установке. Кинематическая схема установки для исследования ИТВМ с выходным МСХ показана на рис. 7, а лабораторный образец – на рис. 8.

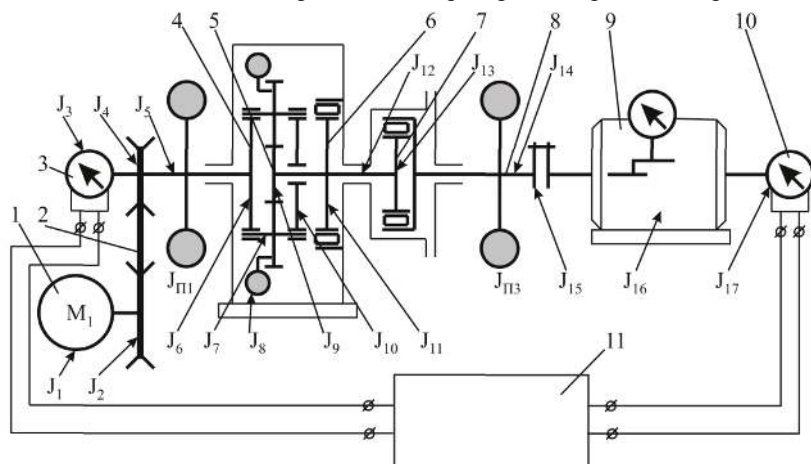


Рис. 7. Кинематическая схема экспериментальной установки

Приводной двигатель 1 постоянного тока мощностью $N_d=25$ кВт при номинальной частоте вращения $n_d=1500$ об/мин через повышающую клиноременную передачу 2 сообщает движение ведущему водилу 4 ИТВМ, кинематическая схема которого показана на рис. 4. Этот привод обеспечивает плавное регулирование частоты вращения ИТВМ в пределах $n_1=50...3000$ об/мин, для измерения которой используется тахогенератор 3. Ведомое солнечное зубчатое колесо 5, звездочка 6 корпусного МСХ (роликовый с внутренней звездочкой) и внутренняя обойма 7 выходного МСХ (с эксцентриковыми роликами фирмы «Borg-Warner») закреплены на валу реактора. От этого вала посредством выходного МСХ движение передается

выходному валу 8, соединенному с порошковым магнитным тормозом 9 и измеряется тахометром 10. Тормоз обеспечивает нагружение исследуемого ИТВМ моментом $M_c=0...160$ Н·м. Измерение частоты вращения ведущего и выходного валов ИТВМ производится визуально по шкале приборов, расположенных на щите управления.

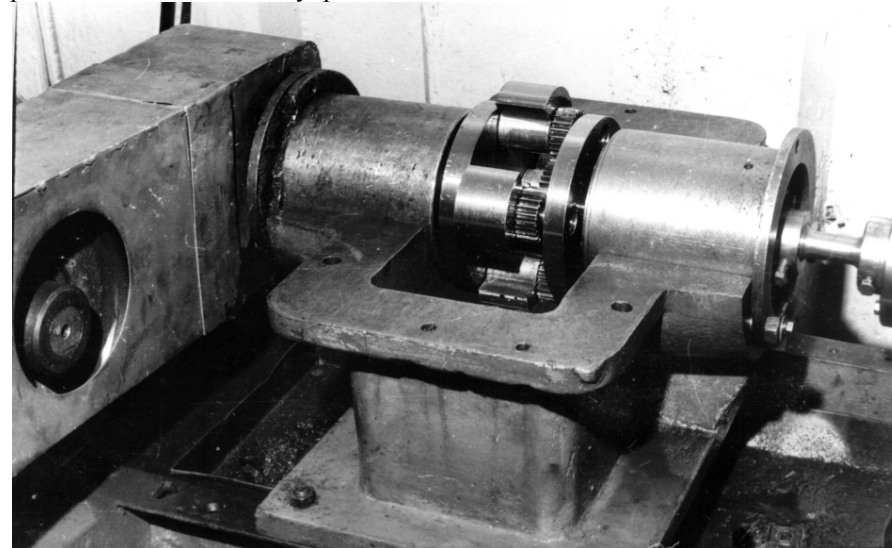


Рис. 8. Лабораторный образец ИТВМ

За счет увеличения частоты вращения n_1 ведущего водила обеспечивался выход ИТВМ на режим динамической муфты. При этом велось наблюдение за изменением частоты вращения ведущего и ведомого валов.

На режиме трансформации момента при $n_1=300$ об/мин выходной вал вращается со значительной неравномерностью и показывает среднюю частоту вращения $n_4=125$ об/мин, т.е. $i_{\Pi}=0,4$. При дальнейшем плавном увеличении n_1 с 300 до 450 об/мин происходит переход трансформатора на динамическую муфту. Угловая скорость n_4 выходного вала сначала растет до $n_4=300$ об/мин ($i_{\Pi}=0,7$) и в момент перехода на муфту скачкообразно поднимается до n_1 . Приращение $\Delta n_4=1500$ об/мин. После этого неравномерность практически исчезает. Все звенья устойчиво вращаются как одно целое. Таким образом, ИТВМ выходит на муфту при $i_{\Pi}<1,0$. Здесь передаточное отношение примерно равно $i_{\Pi}=0,6...0,7$.

При снижении частоты вращения n_1 до 200 об/мин ИТВМ автоматически переходит с режима муфты на режим трансформации

момента. Угловая скорость ведомого вала при переходе на трансформацию момента резко снижается до $n_4 = 25$ об/мин.

Результаты исследования ИТВМ без выходного МСХ и добавочным маховиком показали, что трансформатор без всяких затруднений автоматически выходит на режим динамической муфты. Исключение выходного МСХ из схемы ИТВМ и увеличение приведенного момента инерции масс реактора снижает передаточное отношение на режиме трансформации, обуславливает повышение неравномерности движения ведомого вала и выход на режим динамической муфты происходит при более высоком значении угловой скорости ведущего звена. Однако, переход на муфту, как и в предыдущей схеме ИТВМ с выходным МСХ, происходит при передаточном отношении $i_{\Pi} = 0,6...0,7$.

Получено опытное подтверждение теоретического положения о том, что условием выхода трансформатора на режим динамической муфты не является равенство амплитудного значения угловой скорости $\phi_{3\max}$ реактора и угловой скорости ϕ_1 водила в цикле работы ИТВМ. Условием выхода на режим динамической муфты необходимо принять динамическое равновесие ведущей и ведомой части ИТВМ, которое обуславливается, как показывают расчеты величиной передаточного отношения $i_{\Pi} = \phi_3 / \phi_1$ (значение ϕ_3 здесь не амплитудное, а среднее). Величина приведенного момента инерции вала реактора с выходным МСХ или приведенного момента ведомого вала без выходного МСХ оказывает существенное влияние на динамику их разгона. Поэтому с увеличением значений этого параметра требуется повышение угловой скорости ϕ_1 ведущего звена для достижения величины передаточного отношения, при котором будет выполняться условие динамического равновесия и выход трансформатора на режим муфты.

Результаты аналитических, расчетных и экспериментальных исследований были положены в основу разработанной конструкции автоматической коробки передач с ИТВМ для автомобиля ИЖ-2126 (рис. 9).

Ведущее водило 3 приводится в движение от маховика 1 двигателя через центробежное сцепление 2. Водило состоит из двух дисков, которые соединяются шпильками 7. В нем на опорах качения устанавливаются оси неуравновешенных сателлитов 17. На валу реактора 6 закреплены солнечная шестерня 8, ведущие обоймы 9 и 10 корпусного и выходного МСХ. Внутри реактора 6 проходит ведомый вал 5 трансформатора, на котором закреплены ведущая обойма блокировочного МСХ 4, ведомая обойма выходного МСХ, а также ведущие элементы управляющих фрикционов 15 и 16. Движение от ведомого вала 3 ИТВМ на выходной вал 14 коробки передается на понижающей передаче по кинематической цепи: зубчатая пара $z_1 = 20$ и $z_2 = 27$, промежуточный вал 12, зубчатая пара $z_3 = 21$ и $z_4 = 24$, зубчатая муфта 13 реверса прямого и заднего хода. При этом фрикцион 16 включен. На

прямой передаче фрикцион 16 выключается и включается фрикцион 15, соединяющий ведомый вал 5 и выходной вал 14 непосредственно. Переключение осуществляется автоматически с использованием автоматических средств разработанных для гидромеханической коробки передач.

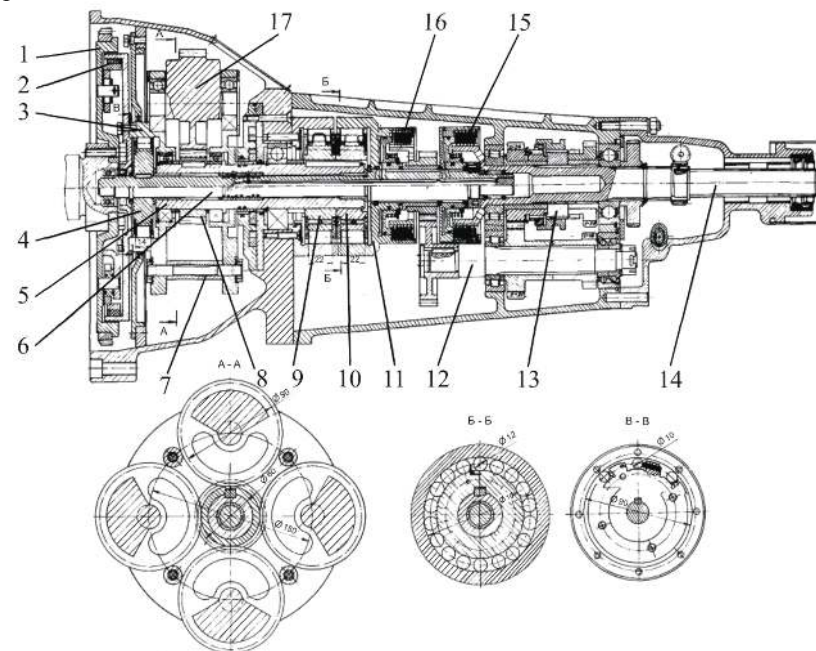


Рис. 9. Конструкция опытной автоматической коробки передач автомобиля ИЖ-2126

В известных схемах ИТВМ роль автоматического регулятора передаточного отношения играет массивный промежуточный вал-реактор или упругий вал. Именно эти схемы были объектом исследования в работе. Однако рассмотренное многообразие ИТВМ с планетарными импульсаторами (см. рис. 1, табл. 1) показали, что схема 4, в которой момент от сил инерции $M_{\text{имп}} = f(\phi_1, \phi_3)$, позволяет создать ИТВМ без промежуточного вала-реактора или упругого вала. Эта схема и была положена в основу разработанного нами ИТВМ (рис. 10, полезная модель №28217, приоритет от 14.10.2002).

На ведущем валу 1 (см. рис. 10), установленном на подшипниках качения в корпусе 2, закреплена корончатая шестерня 3, находящаяся в зацеплении с сателлитами 4, оси 5 которых размещены на опорах качения в ведомом водиле, состоящем из левого 6 и правого 7 дисков, соединенных между собой стенкой 8 через распорную втулку 9. Правый диск водила

закреплен на ведомом валу 10 передачи. Неуравновешенный груз 11, в прорези которого на пальце 12 посажен ролик 13, установлен с пружиной 14 на квадратной части оси сателлита 5 и размещен внутри опорного кольца 15, шарнирно закрепленного посредством пальца 16 на диске 7 водила. Кольцо 15 находится в обойме 17 корпуса и прижимается к ее цилиндрической поверхности пружиной 18 через ролик 19, который свободно посажен на палец.

Передача работает следующим образом. Сателлиты 4 и неуравновешенные грузы 11 получают вращение относительно оси от ведущей корончатой шестерни 3. Так как кольцо 15 шарнирно подвешено на водиле 7 с некоторым смещением e , то при повороте груза на угол от 0 до 180° , как показано на верхнем кольце, ролик 13 не касается его внутренней поверхности. В этом положении силы инерции от движения неуравновешенного груза как в обычной передаче воздействуют на ось сателлита, создавая на водиле положительный импульс динамического движущего момента. При дальнейшем движении грузового звена оно будет отжиматься поверхностью кольца 15 и между его торцевой поверхностью и осью 5 сателлита появится зазор, равный величине смещения e .

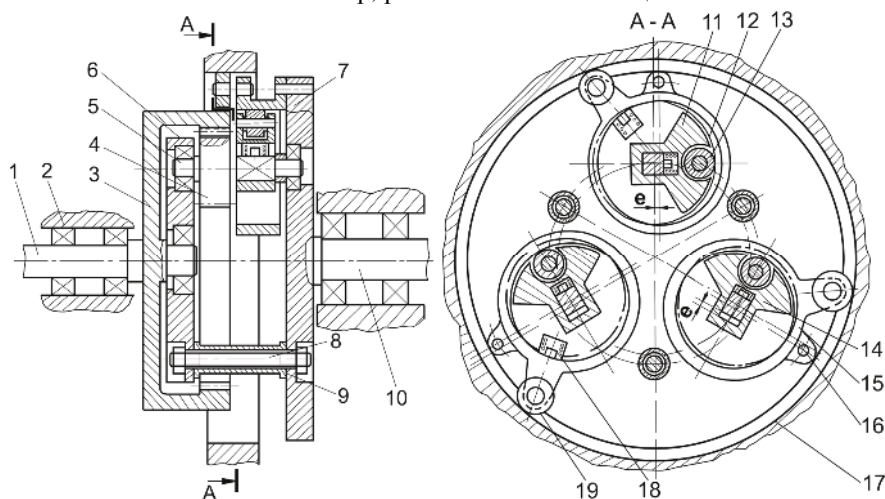


Рис. 10. Новая конструкция автоматического ИТВМ без МСХ

Следовательно, при повороте на угол от 180° до 360° отрицательные по направлению силы инерции воспринимаются кольцом 15 и передаются через ролик 19 на поверхность обоймы 17, закрепленной в корпусе передачи, что исключает воздействие отрицательного импульса момента сил инерции на ведомое водило. Перекрытие положительных импульсов движущих моментов на ведомом валу в цикле работы передачи обеспечивается смещением неуравновешенных грузов равномерно по фазе (рис. 11) для трех сателлитов.

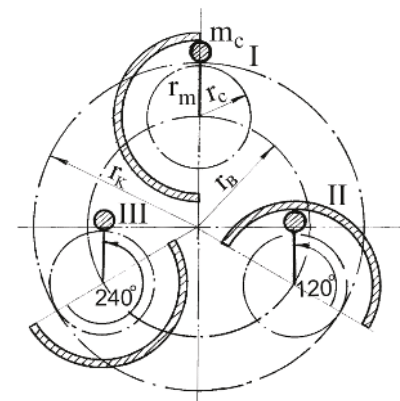


Рис. 11. Схема расположения трех неуравновешенных сателлитов, равномерно смещенных по фазе

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

1. Использование специальных упругих элементов в ИТВМ улучшает работоспособность МСХ, однако это ведет к недопустимому растягиванию цикла работы ИТВМ по времени и неприемлемо для высокооборотных двигателей транспортных машин.

2. Величина момента, передаваемого на выходной вал ИТВМ с выходным МСХ в основном определяется параметрами цикла его работы (углом заклинивания и углом расклинивания МСХ). Сравнительный анализ показывает, что при достаточно высокой жесткости выходного МСХ средняя величина момента на выходном валу ИТВМ примерно одинакова с движущим моментом на валу реактора.

3. Замена выходного МСХ упругим элементом ставит задачу определения его жесткости из условия передачи движущего динамического момента, развиваемого неуравновешенными сателлитами, на выходной вал ИТВМ. За время действия положительной части импульса жесткость существующей трансмиссии объекта исследования (автомобиля ИЖ-2126) удовлетворяет указанному условию. При частоте вращения приводного двигателя $n_1 < 3400$ об/мин на ведомый вал передается полный движущий динамический момент.

При $n_1 > 3400$ об/мин, когда время длительности импульса становится меньше времени нарастания упругого момента, получаем снижение момента на ведомом валу. Чтобы избежать снижения величины момента на ведомом валу при $n_1 > 3400$ об/мин требуется повысить жесткость трансмиссии легковых автомобилей до $5120 \text{ Н} \cdot \text{м/рад}$.

4. Динамика звеньев ИТВМ с импульсатором Хоббса без выходного МСХ с учетом податливости ведомой части трансмиссии показывает, что

упругий элемент обеспечивает ее дополнительный разгон. При этом средняя величина угловой скорости разгона в цикле работы трансформатора значительно выше, чем в ИТВМ с выходным МСХ. Следовательно, применение упругого элемента вместо выходного МСХ существенно повышает разгонные свойства ИТВМ.

5. Податливость существующей трансмиссии объекта исследования (автомобиль Иж-2126) следует признать достаточной. Применение дополнительного упругого элемента и снижение величины коэффициента жесткости приводит к значительному уменьшению амплитуды движущего динамического момента на ведомой части привода при повышенной частоте вращения приводного двигателя, т.е. когда длительность положительного импульса вращающего момента мала.

6. На обгонных режимах двигатель автомобиля ИЖ-2126 с ИТВМ с импульсатором Хоббса без блокирующего МСХ оказывает торможение за счет реактивного динамического момента, развиваемого неуравновешенными сателлитами на солнечной шестерне, подобно передачи Чальмерса. Обеспечивается возможность торможения двигателем, т.к. на обгонных режимах выполняется условие выхода трансформатора на режим динамической муфты, когда за счет остановки неуравновешенного сателлита определенное время ведущая и ведомая часть ИТВМ движутся как одно целое.

7. Для расширения диапазона обгонных режимов при использовании их в процессах торможения автомобиля двигателем целесообразно использовать дополнительный блокировочный МСХ между ведомым валом (при отсутствии в трансформаторе выходного МСХ) и водилом. В этом случае при любом передаточном отношении на обгонном режиме будет осуществляться торможение двигателем.

8. Проведенные сравнительные исследования переходных процессов ИТВМ с импульсатором Хоббса с выходным МСХ и без него подтвердили теоретические положения и расчеты о выходе трансформатора на режим муфты при передаточном отношении менее 1. Необходимым и достаточным условием выхода на муфту является динамическое равновесие ведущей и ведомой части ИТВМ, а не равенство угловых скоростей ведомого и ведущего звена.

9. Разработана конструкция автоматической ИТВМ, в которой исключается воздействие отрицательных импульсов сил инерции на ведомое звено передачи, что позволяет избавиться от корпусного МСХ и устанавливать неуравновешенные сателлиты со смещением по фазе. Перекрытие импульсов движущего момента за счет их фазового смещения увеличивает их количество в цикле работы передачи. В результате этого значительно снижается циклическое нагружение деталей передачи в приводе машины. При изменении знакопостоянного движущего момента с незначительными колебаниями отпадает необходимость в применении выходного МСХ или заменяющего его торсиона, что упрощает конструкцию

передачи, повышает ее надежность.

10. Разработанные методики и рекомендации диссертационной работы внедрены в практику проектирования и применяются в поисковых исследованиях новых типов приводов транспортных машин в ОАО «Ижмаш-Авто» и ОАО «Ижевские мотоциклы».

11. Результаты диссертационной работы были использованы при выполнении научно-исследовательских работ:

- грант по фундаментальным исследованиям в области технических наук Минобрнауки РФ «Разработка научных основ создания автоматических трансмиссий с динамическими связями» (Руководитель В.А. Умняшкин) (2001 – 2002 г.г.);

- проект «Разработка научных основ создания легкового автомобиля с гибридной энергосиловой установкой», выполненный в соответствии с программой «Транспорт» научно-технической программы Минобрнауки РФ «Научные исследования высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники» (2001-2002 г.г.).

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Набиев И.С. Расчет расхода топлива грузового автомобиля// Труды II Международной конференции «Автомобиль и техносфера» (ICATS' 2001). – Казань: КГТУ, 2001. – С. 204-205.

2. Разработка научных основ создания автоматических трансмиссий с динамическими связями: Заключительный отчет о научно-исследовательской работе, выполненной в рамках гранта по фундаментальным исследованиям в области технических наук Минобрнауки РФ «Разработка научных основ создания автоматических трансмиссий с динамическими связями». Код НИР: ВНИИЦ, 01.200.2 04989/ Ижевский государственный технический университет; Руководитель работы В.А. Умняшкин. – Ижевск: ИжГТУ, 2002. – 125 с. – Отв. исполн. Н.М. Филькин; Соисполн.: И.С. Набиев, С.В. Громовой.

3. Разработка научных основ создания легкового автомобиля с гибридной энергосиловой установкой: Заключительный отчет о научно-исследовательской работе, выполненной в соответствии с подпрограммой «Транспорт» научно-технической программы Минобрнауки РФ «Научные исследования высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники». Код НИР: ВНИИЦ, 01.200.2 04988/ Ижевский государственный технический университет; Руководитель работы В.А. Умняшкин. – Ижевск: ИжГТУ, 2002. – 213 с. – Отв. исполн. Н.М. Филькин; Соисполн.: И.С. Набиев, С.Н. Зыков, Д.В. Матвеев, Д.В. Скуба, А.В. Русских.

4. Умняшкин В.А., Филькин Н.М., Набиев И.С. Автоматическая инерционная импульсная передача// Свидетельство на полезную модель № 28217. Приоритет от 14.10.2002.

5. Умняшкин В.А., Филькин Н.М., Набиев И.С. Внешняя

характеристика вращающего момента на ведомом звене инерционно-импульсного трансформатора мотоцикла с импульсатором типа передачи Хоббса// Прогресс транспортных средств и систем - 2002: Материалы Международной научно-практической конференции. – В 2-х частях. – Часть 2. – Волгоград: ВолгГТУ, 2002. – С. 279-281.

6. Умняшкин В.А., Филькин Н.М., Набиев И.С. Определение основных параметров импульсатора типа передачи Хоббса для автоматического привода легкового автомобиля// Прогрессивные технологии, машины и механизмы в машиностроении: Сборник научных статей Международной научно-технической конференции БАЛТТЕХМАШ-2002. – Калининград: КГТУ, 2002. – С. 188-190.

7. Набиев И.С. Новая конструкция инерционной импульсной передачи// Труды IV Международной научно-технической конференции «Информационные технологии в инновационных проектах». – В 4-х частях. – Часть 3. – Ижевск: ИжГТУ, 2003. – С. 70-73.

8. Набиев И.С. Анализ планетарного инерционно-импульсного трансформатора вращающего момента. – Ижевск-Екатеринбург: Екатеринбург, издательство Института экономики УрО РАН, 2003. – С. 29-36.

9. Умняшкин В.А., Свитковский Ф.Ю., Филькин Н.М., Набиев И.С. Инерционно-импульсная передача планетарного типа для автоматической трансмиссии транспортной машины// Труды III Международной научно-практической конференции "Автомобиль и техносфера" (ICATS' 2003). – Казань: КГТУ, 2003.

10. Умняшкин В.А., Филькин Н.М., Набиев И.С. Инерционные передачи транспортных средств// Сборник статей Всероссийской научно-технической конференции "Механика и процессы управления моторно-трансмиссионных систем транспортных машин". – Курган: Изд-во Института Машиноведения УрО РАН, 2003.

11. Умняшкин В.А., Филькин Н.М., Набиев И.С. Автоматические трансмиссии транспортных машин с динамическими связями// Сборник статей VIII Международной научно-технической конференции "Проблемы машиностроения и технологии материалов на рубеже веков". – Часть 1. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2003. – С. 68-71.

12. Умняшкин В.А., Филькин Н.М., Набиев И.С. Разработка конструкции автоматической инерционно-импульсной передачи планетарного типа без механизмов свободного хода// Сборник статей Всероссийской научно-технической конференции "Современные тенденции развития автомобилестроения в России". – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2003.

13. Набиев И.С., Нуретдинов Д.И., Галиев Р.М. Инерционные трансформаторы вращающего момента с двухпоточными дифференциальными механизмами// Труды III Международной научно-практической конференции "Автомобиль и техносфера" (ICATS' 2003). – Казань: КГТУ, 2003.

ЛР N 020342 от 7. 02. 97 г.

ЛР № 0137 от 2. 10. 98 г.

Подписано в печать 20.09.2003 г.

Формат 60x84/16

Бумага офсетная

Печать ризографическая

Уч.-изд.л. 1,0

Усл.-печ.л. 1,5

Тираж 100 экз.

Заказ 1836

Издательско-полиграфический центр

Камского государственного политехнического института

423810, г. Набережные Челны, Новый город, проспект Мира, 13